

## **PRODUÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE BIOGÁS POR DESLOCAMENTO DE LÍQUIDO**

DUTRA, Danieli R <sup>1\*</sup>; SILVA, Jadielson R. <sup>2</sup>; FRANCESQUETT, Janice Z <sup>2</sup>;  
LOVATO Adalberto <sup>3</sup>; WEBLER Geovane <sup>3</sup>

<sup>1</sup> FAHOR, Curso de Engenharia de Controle e Automação, Campus Arnoldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

<sup>2</sup> FAHOR, Curso de Engenharia Química.

<sup>3</sup> FAHOR, Curso de Engenharia Mecânica.

\*Autor Correspondente: dd002180@fahor.com.br.

### **RESUMO**

O uso do biogás como fonte de energia está se tornando um assunto com grande importância e potencial, por ser uma forma alternativa de energia limpa, que garante a economia nos quesitos de energia e gás. Assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver e implementar um sistema de baixo custo para medição de biogás em biodigestores anaeróbicos laboratoriais que torne mensurável a quantidade de biogás produzida. O dispositivo foi fabricado com mangueiras de PVC translúcido, componentes de polietileno usinado, abraçadeiras metálicas, conectores de aço galvanizado, silicone, uma base de madeira, mangueiras plásticas, componentes de cloreto de polivinila, silicone e comandos elétricos. Para que haja um controle eficaz, o sistema é conectado a um sensor capacitivo detector de nível de líquidos posicionado no tubo correspondente a saída de gás e, ao sensor, é ligado um Controlador Lógico Programável. Com base em testes, constatou-se a eficiência deste dispositivo na mensuração de biogás produzido no processo.

**Palavras chave:** Biogás. Sistema de medição. Biodigestores laboratoriais.

### **IMPLEMENTATION OF A BIOGAS MEASUREMENT SYSTEM BY DISPLACEMENT OF LIQUID**

## ABSTRACT

The use of biogas as an energy source is becoming an issue of great importance and potential, as it is an alternative form of clean energy, which guarantees savings in energy and gas. Thus, this work aimed to develop and implement a low-cost system for measuring biogas in anaerobic laboratory biodigesters that makes the quantity of biogas produced measurable. The device was manufactured with translucent PVC hoses, machined polyethylene components, metal clamps, galvanized steel connectors, silicone, a wooden base, plastic hoses, polyvinyl chloride components, silicone and electrical controls. For effective control, the system is connected to a capacitive liquid level detector sensor positioned on the pipe corresponding to the gas output and a Programmable Logic Controller is connected to the sensor. Based on tests, it was verified the efficiency of this device in the measurement of biogas produced in the process.

**Keywords:** Biogas, Measurement, Low Cost.

## 1 INTRODUÇÃO

Biodigestores são equipamentos onde ocorre a decomposição da matéria orgânica, resultando na geração do biogás e biofertilizante. No geral, são de fácil instalação, podendo ser utilizados em áreas urbanas e rurais, entretanto, sem o envolvimento da tecnologia dos dias atuais, a dificuldade em monitorar e controlar o processo é algo que compromete a eficácia do processo e o rendimento da biodigestão.

Com o foco na avaliação da eficiência na alimentação dos biodigestores, esta pesquisa se justifica pela necessidade da avaliação do biogás gerado em testes e monitoramentos realizados em pequena escala, que auxiliarão a identificar qual a melhor alimentação a ser utilizada posteriormente na usina de biodigestão disponível na FAHOR – Faculdade Horizontina. Partindo deste princípio, o principal objetivo desta pesquisa foi desenvolver um sistema de baixo custo, utilizando recursos tecnológicos que possibilitem a avaliação da quantidade de biogás gerada nos sistemas desenvolvidos em testes laboratoriais.

## 2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

### 2.1 BIODIGESTÃO

De acordo com a norma ISO (2018), a biodigestão é caracterizada como a conversão biológica de materiais biodegradáveis por microorganismos na ausência de oxigênio criando

dois produtos principais: biogás e biofertilizante. O biogás é produzido pela digestão anaeróbica da matéria orgânica, como dejetos de animais, resíduos residenciais e industriais orgânicos, restos de curtumes, fábricas de alimentos e outros. O biofertilizante é o resíduo deste processo, composto pela matéria orgânica que não foi transformada durante a digestão anaeróbica dentro do biodigestor (OLIVEIRA, 2009).

O biogás atraiu grande interesse internacional nos últimos anos por ser uma fonte promissora de energia renovável que pode ser convertida diretamente em energia elétrica como em uma célula de combustível ou também ser queimado, liberando calor em alta temperatura (DEUBLEIN e STEINHAUSER, 2008, LANTZ, 2012; LEÓN & MARTÍN, 2016;). Segundo Seadi (2008), a produção e utilização de biogás fornece avanços nas condições ambientais e socioeconômicas, além de benefícios para a sociedade como um todo. Particularmente para o Brasil, o desenvolvimento na estrutura da bioenergia pode ser visto como um passo estratégico, especialmente para as comunidades rurais, devido ao auto fornecimento potencial de energia, bem como a comercialização do excesso de energia no sistema nacional (ARAÚJO; et al., 2014).

## 2.2 CONTROLE DE SISTEMAS POR AUTOMAÇÃO

De acordo com Franchi e Camargo (2009), os primeiros sistemas de controle foram desenvolvidos durante a revolução industrial, no final do século XIX. As funções de controle eram implementadas por engenhosos dispositivos mecânicos, os quais automatizavam algumas tarefas críticas e repetitivas das linhas de montagem da época. Os dispositivos precisavam ser desenvolvidos para cada tarefa e devido natureza mecânica, eles tinham uma pequena vida útil. Os controladores lógicos programáveis (CLPs) são hoje a tecnologia de controle de processos industriais mais utilizada. Esses controladores reduziram muito a fiação associada aos circuitos de controle convencional a relé, além de apresentar outros benefícios, como a facilidade de programação e instalação, controle de alta velocidade, compatibilidade de rede, verificação de defeitos e conveniência de teste e alta confiabilidade (PETRUZELLA, 2014).

A programação em linguagem *Ladder* é uma ferramenta usada para descrever o formato de diagramas esquemáticos introduzidos num CLP. A linguagem usa dois elementos básicos: instruções lógicas de relé e instruções para transferência de dados. A lógica *Ladder* não é apenas uma linguagem de programação para CLPs. É uma das linguagens de programação para CLPs padronizadas, de fácil leitura, é desenhada no computador, com a criação de linha por linha, sendo que a ordem de compilação será na ordem das linhas

programadas, pois o CLP sempre inicia no topo da sua lógica *Ladder* e, em seguida, executa o seu caminho para baixo (FRANCHI E CAMARGO, 2009).

CODESYS (*Controller Development System*), é um ambiente de desenvolvimento para controladores programáveis de acordo com a norma IEC 61131-3, desenvolvido e comercializado pela *3S-Smart Software Solutions GmbH*, uma empresa alemã situada na cidade de Kempten, na Baviera (CODESYS, 2019). A versão 1.0 foi lançada em 1994 e atualmente encontra-se na versão 3.5. Sua interface de desenvolvimento é gratuita e não é orientada à um tipo específico de hardware de controlador programável ou sistema embarcado, inclusive não dependendo do fabricante do hardware (CODESYS, 2019).

De acordo com Silveira (2019), a capacitância é a capacidade de um material de armazenar carga elétrica. No campo da eletrônica, este princípio é geralmente associado ao dispositivo armazenador de energia chamado capacitor. Sensores capacitivos são capazes de detectar diferentes objetos e mídias sem contato e independentemente da forma. Com esses sensores, os níveis de enchimento de líquidos ou materiais a granel também podem ser detectados em contato direto com o meio ou através de uma parede de contêiner não metálico, por exemplo. Além do objeto, monitoramento de fluxo de material, proteção contra transbordamento e detecção de vazamentos são, também importantes áreas de inscrição (LEUZE ELETRONIC, 2017).

### 2.3 MÉTODOS

O método utilizado no presente trabalho é a visão realística crítica, na qual se trata do conhecimento sobre artefatos de design, no conceito de Herbert Simon, nos seus estudos sobre As Ciências do Artificial (1996) (WANG et. al., 2013). A interação entre o realismo crítico do design e a engenharia, direciona os estudos para os três domínios de projeto: função, comportamento e estrutura. A função principal do dispositivo a ser desenvolvido é ter capacidade de realizar a medição de biogás; o comportamento desejado é que o dispositivo tenha a capacidade de receber o biogás pela entrada de gás e com a pressão do mesmo, deslocar o líquido para as demais mangueiras permitindo que o nível de líquido suba fazendo com que o sensor detecte o líquido, contabilizando a contagem dos eventos.

Os procedimentos adotados para a elaboração deste trabalho foram embasados em pesquisas de caráter bibliográfico, bem como, trabalhos e artigos do âmbito acadêmico que abordam o assunto escolhido, e demais tecnologias e equipamentos. No decorrer da pesquisa foi definido como seria o dispositivo e a manufatura do mesmo, a maneira como os componentes seriam fabricados e a necessidade de compra dos demais componentes que

seriam utilizados. Também foi definido de que forma os componentes seriam montados e a sequência da montagem. Após isso, foi verificada a necessidade de produzir um suporte, para que o dispositivo sempre permaneça na posição vertical, a fim de não correr o risco de o mesmo sofrer algum dano durante o seu funcionamento.

Após a realização de testes, foi definido a utilização do sensor que detecta nível de líquidos sem contato, que funciona conforme o equipamento necessite e, também, se comunica de forma correta com o CLP adotado para este trabalho. Por fim, foram realizados testes práticos de avaliação do funcionamento do sistema considerando um biodigestor laboratorial.

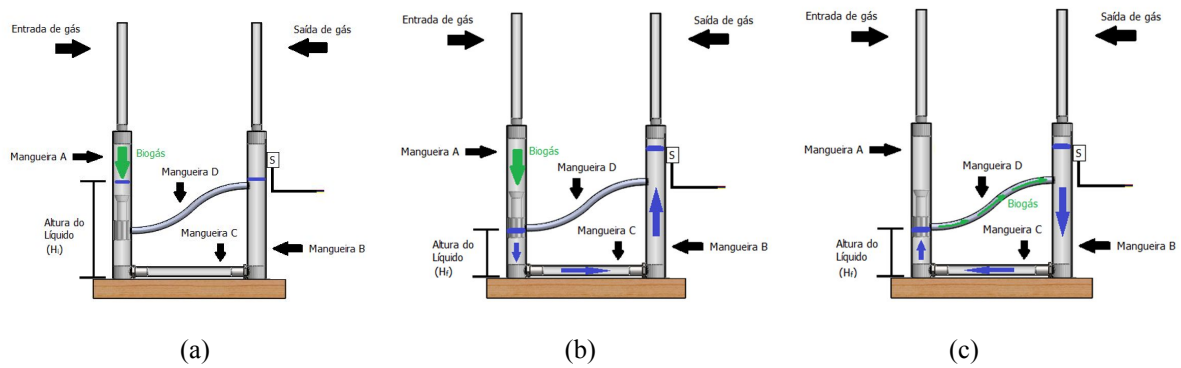
## 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.4.1 DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE BIOGÁS

O dispositivo proposto para medição do gás gerado no processo de biodigestão para uso em biodigestores laboratoriais foi desenvolvido baseado no princípio de deslocamento de líquidos. A estrutura deve estar posicionada de forma vertical, com a altura de aproximadamente 180 mm de líquido ( $H_i$ ) a partir da base, sendo que o líquido fica nivelado nas mangueiras.

Ao iniciar o processo, o sistema recebe o biogás produzido na extremidade da esquerda (entrada de gás) (Figura 1 (a)). O gás, então, avança pelo dispositivo fazendo com que a pressão empurre o líquido para baixo (Figura 1 (b)), deslocando o líquido da mangueira A em direção a mangueira B, aumentando o nível de líquido da mesma. Deste modo, após o nível ultrapassar o centro do sensor, o mesmo irá detectar o líquido. Quando o biogás deslocar o líquido até a extremidade inferior da mangueira D ( $H_f$ ), este gás desloca-se da mangueira A para a mangueira B através da mangueira D, fazendo com que o líquido do sistema faça o caminho inverso através da mangueira C deixando, assim, o sistema nivelado para o próximo ciclo (Figura 1 (b)).

Figura 1 - Dispositivo de medição por deslocamento de líquidos – estágios



Sabendo que os equipamentos comercializados são de elevado custo, neste dispositivo, foram priorizados a utilização e compra de componentes de baixo custo e fácil usinagem e, também, foi considerado a deterioração dos mesmos ao entrar em contato com o biogás. A estrutura elaborada (Figura 2) é composta por mangueiras de PVC translúcido, componentes de polietileno usinado, abraçadeiras metálicas, conectores de aço galvanizado, silicone, uma base de madeira mangueiras plásticas, componentes de cloreto de polivinila. Este sistema é posteriormente conectado a um sensor capacitivo detector de nível de líquidos e um CLP.

Figura 2 - Dispositivo de Medição de Biogás



Com base no funcionamento do sistema verifica-se que o volume de líquido deslocado de uma mangueira para outra é igual ao volume de gás produzido no ciclo. O volume de líquido deslocado é calculado a partir do resultado da diferença de altura de líquido no início do ciclo até a extremidade inferior da mangueira D, multiplicado pelo resultado do cálculo da área de uma base, resultando que a cada ciclo é deslocado 40 mL de gás.

## 2.4.2 SENSOR DE NÍVEL DE LÍQUIDOS XKC-Y25-PNP E PROGRAMAÇÃO LADDER

O sensor escolhido para a realização do projeto foi o sensor XKC-Y25-PNP, um dispositivo capacitivo puramente eletrônico utilizado para detecção de nível de líquido sem necessidade de contato. O mesmo utiliza um chip com avançada tecnologia de processamento de sinal e que executa operações em alta velocidade para detecção de líquidos que conduzem eletricidade. A programação foi desenvolvida em linguagem *Ladder*, para a elaboração do código considerou-se um modelo de CLP acoplado a um kit didático disponível na instituição de ensino, o qual foi utilizado posteriormente para realizar os testes de funcionamento. A escolha das portas de entradas e saídas foi feita por meio da disposição física do equipamento.

Portanto, declarou-se a entrada e as saídas do sistema, conforme descrito na coluna “*Variable*” das Figuras 3 e 4.

Figura 3 – Declaração da entrada do sistema de controle

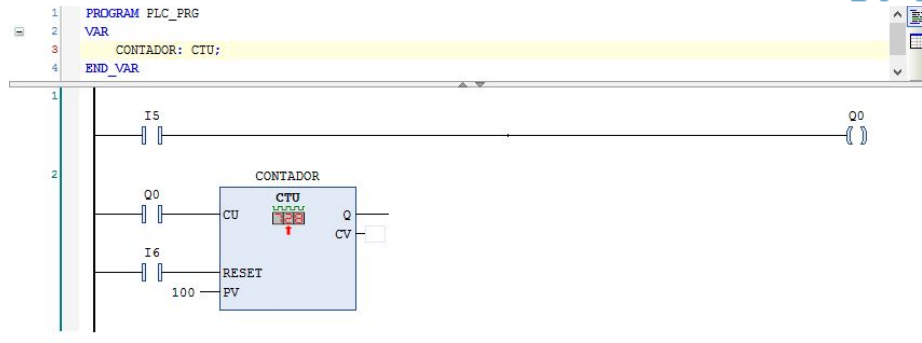
Variable	Mapping	Channel	Address	Type	Default Value	Unit	Description
		Onboard Input	%IB0				CECC's onboard digital inputs
		Byte0	%IB0	BYTE			
		Bit0	%IX0.0	BOOL			fast input
		Bit1	%IX0.1	BOOL			fast input
		Bit2	%IX0.2	BOOL			
		Bit3	%IX0.3	BOOL			
		Bit4	%IX0.4	BOOL			
		Bit5	%IX0.5	BOOL			
I5		Bit6	%IX0.6	BOOL			
I6		Bit7	%IX0.7	BOOL			
		Byte1	%IB1	BYTE			

Figura 4 – Declaração das saídas do sistema de controle

Variable	Mapping	Channel	Address	Type	Default Value	Unit	Description
		Onboard Output	%QB0				CECC's onboard digital outputs
		Byte0	%QB0	BYTE			
Q0		Bit0	%QX0.0	BOOL	FALSE		
		Bit1	%QX0.1	BOOL	FALSE		
		Bit2	%QX0.2	BOOL	FALSE		
		Bit3	%QX0.3	BOOL	FALSE		
		Bit4	%QX0.4	BOOL	FALSE		
		Bit5	%QX0.5	BOOL	FALSE		
		Bit6	%QX0.6	BOOL	FALSE		
		Bit7	%QX0.7	BOOL	FALSE		

Para que a programação funcionasse, foram criadas variáveis booleanas, ou seja, variáveis que trabalham com valores de verdadeiro ou falso, para que as mesmas indiquem se tanto a entrada como as saídas foram acionadas, conforme Figura 5.

Figura 5 – Programação em Linguagem Ladder



O kit didático escolhido para validação dos testes é de propriedade da Faculdade Horizontina, sendo uma maleta desenvolvida pela Festo para atender diversas necessidades acadêmicas, facilitando o transporte do equipamento e possibilitando o conhecimento sobre CLP. A maleta contém os fios de rede o qual um é conectado na IHM1 e no CLP e o outro é conectado na IHM2 e no notebook. Após conectado ao notebook via cabo, é configurado os dados de IP e Ethernet, e a programação que está no software Codesys é aberta. Assim que todo o sistema está montado e a programação do software é acionada, inicia o processo de funcionamento.

#### 2.4.3 AVALIAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA NO PROCESSO DE BIODIGESTÃO

Após o completo desenvolvimento do sistema de medição, o mesmo foi testado para verificação da quantidade de gás gerada em um biodigestor laboratorial contendo dejetos suínos como substrato. Os dejetos foram coletados em uma bombona de 5 L permanecendo armazenados na mesma, sendo realizado um furo de Ø10 mm na tampa de plástico da bombona para passagem de uma mangueira de plástico e um espigão macho. Deste modo, após conectar o espigão macho e a mangueira a tampa, a tampa foi isolada com durepox, para evitar algum possível vazamento de gás no sistema. A bombona foi isolada com um tecido escuro com base em polímero, para acelerar a produção das bactérias responsáveis pela produção do biogás.

Posteriormente, foi utilizado um recipiente de vidro, o qual contém 3 furos de Ø10 mm em sua tampa. A mangueira conectada a bombona de biogás foi conectada a uma entrada deste recipiente, a entrada de gás do dispositivo também foi conectada a uma outra entrada do recipiente, e por fim, foi conectada ao recipiente uma mangueira plástica, que foi isolada para não ocorrer nenhum vazamento de gás.

O sensor de nível de líquidos foi acoplado ao dispositivo de medição de biogás por meio de fita plástica e em seguida foi posicionado ao lado do recipiente de vidro. O recipiente



é abastecido com água a uma altura de 140 mm, e a este foi posicionado um tubo de polímero no centro da tampa até 20 mm do fim do recipiente. Isto fez com que o gás gerado no processo passe pelo interior do recipiente, produzindo pressão para movimentar o líquido do dispositivo. A saída de gás do dispositivo foi conectada a um saco plástico, para armazenar o gás gerado pelos dejetos suínos, conforme apresentado na Figura 6.

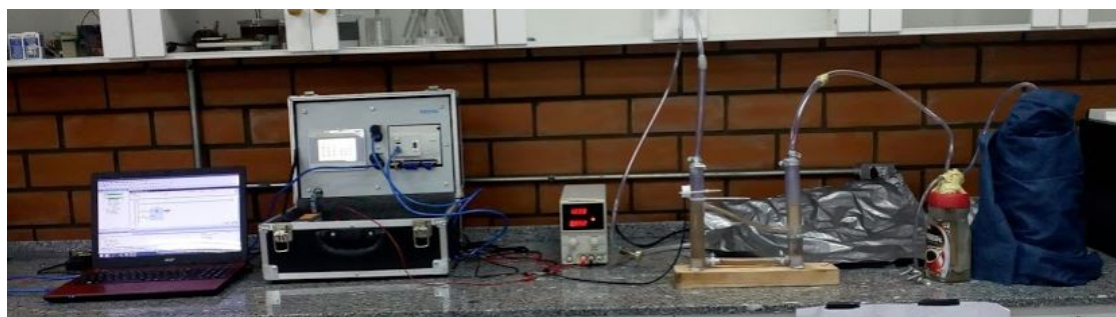
Figura 6 - Sistema de medição de biogás



Em seguida, a maleta contendo o kit didático e o CLP é montada, sendo conectado o cabo IHM1 ao CLP e o cabo IHM2 a entrada do notebook e, por fim, é conectada na energia. A programação feita no software Codesys é carregada e pronta para utilização.

Logo após, são feitas as ligações do sensor com uma fonte de alimentação com tensão de entrada de 12V. O fio marrom do sensor indica o polo positivo, assim é conectado ao positivo da fonte, o fio azul indica o polo negativo, assim conectado ao negativo da fonte e também conectado no aterramento do kit didático. O fio amarelo, que representa a saída do sinal do sensor, é conectado a entrada I5 do kit didático, referindo-se a mesma entrada declarada na programação. O sistema completo de medição pode ser visualizado na Figura 7.

Figura 7 – Sistema de medição de Biogás completo



Assim, o processo foi iniciado e pode-se observar que a produção de biogás levou 4 dias para gerar pressão suficiente para variar o nível de líquido na mangueira de saída de gás, bem como, para o sensor detectar o líquido quando o mesmo atingir o centro do sensor, permitindo que o sistema contabilize a primeira contagem. Após 2 dias da primeira contagem se teve a segunda contagem, notando que após a bombona gerar a pressão suficiente para movimentar o líquido na primeira vez, as demais oscilações levam um tempo menor para realizar a movimentação do líquido.

### CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi construir e implementar um sistema de medição de biogás em biodigestores anaeróbios laboratoriais para mensurar a quantidade de biogás produzida pelo sistema. Sabendo que os dispositivos que estão no mercado são de alto custo de aquisição e de manutenção, foi levado em consideração que o dispositivo proposto fosse de baixo custo, e atendessem estes requisitos.

Os testes físicos necessários para validar o sistema de medição de biogás foram realizados no decorrer da fabricação dos dispositivos, validando o funcionamento dos mesmos. De acordo com os testes realizados, o dispositivo quando disposto as condições de testes laboratoriais, teve seu funcionamento de acordo com o esperado, atendendo o requisito principal de se comportar como um medidor por deslocamento de líquido. O sensor de capacitância escolhido, também teve sucesso quando em funcionamento, detectando o líquido através da mangueira de PVC translúcido todas as vezes que o líquido oscilou.

### REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C.H.C.; et. al. *Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 40, 826-839, 2014.

CODESYS. **Release Codesys V3.5 SP15**. 2019. Disponível em:  
<<https://www.codesys.com/news-events/news/article/release-codesys-v35-sp15-1.html>>  
Acesso em: 3 nov. 2019.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources**. Deggendorf: Federal Republic of Germany, 2008.

FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A de. **Controladores Lógicos Programáveis – Sistemas Discretos**. 2. ed. São Paulo: Editora Érica, 2009.

ISO – *International Organization for Standardization*. **Standard 20675: Biogas – Biogas production, conditioning, upgrading and utilization – Terms, definitions and classification scheme**. Geneve: ISO, 2018.

LANTZ, M. O desempenho econômico do calor e da energia combinados do biogás produzido a partir de esterco na Suécia – uma comparação de diferentes tecnologias de CHP. **Energia aplicada**. Amsterdã, v. 98, p. 502-511, 2012.

LEÓN, E.; MARTÍN, M. *Optimal production of power in a combined cycle from manure based biogas*. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v.114, p. 89-99, 2016.

LEUZE ELETRONIC. **Capacitive sensors**. 2017. Disponível em: <[http://leuze.se/media/assets/dv007\\_144dpi\\_geschuetzt\\_pdf/PIN\\_Kapazitive\\_Sensoren\\_en\\_-50136763-\\_print.pdf](http://leuze.se/media/assets/dv007_144dpi_geschuetzt_pdf/PIN_Kapazitive_Sensoren_en_-50136763-_print.pdf)>. Acesso em: 3 nov. 2019.

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no 56 mercado de carbono**. 2009. 98f. Monografia - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PETRUZELLA, Frank D. **Controladores Lógicos Programáveis**. 4 ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

SEADI, T.A. et al. **Biogas handbook**. Esbjerg: University of Southern Denmark Esbjerg, ISBN 978-87-992962-0-0, 2008.

SIMON, Herbert A. **The Sciences of the Artificial**. MIT Press. 3 ed., 1996.

SILVEIRA, Cristiano B. **Sensor Capacitivo: O que é e como funciona?** 2019. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/sensor-capacitivo/>>. Acesso em: 2 nov. 2019.

WANG, et al. **A Critical Realism view of design artifact knowledge**. Research Gate. 2013.